

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-286563

(43)Date of publication of application : 03.10.2002

(51)Int.Cl.

G01L 1/24
G01B 11/16
G01D 5/26

(21)Application number : 2001-094059

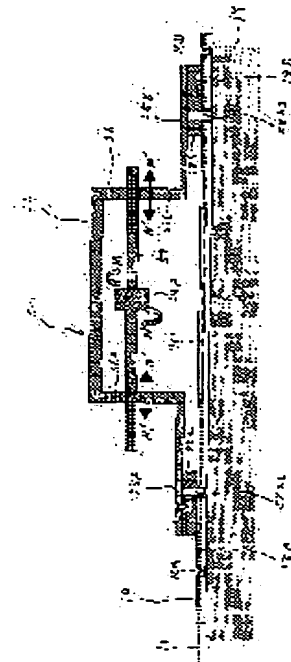
(71)Applicant : KYOWA ELECTRON INSTR CO LTD

(22)Date of filing : 28.03.2001

(72)Inventor : NEMOTO ISAMU
UESUGI TARO**(54) OPTICAL FIBER TYPE STRAIN GAGE****(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical fiber type strain gage of compact constitution capable of solving a problem of temperature compensation by simple and inexpensive constitution, and capable of detecting tensile force and the like applied to a sample by being welded and bonded to the sample.

SOLUTION: The temperature compensation is carried out using a difference between a coefficient of linear expansion of a material of a gage base and a coefficient of linear expansion of a measured object in the optical fiber type strain gage formed with a Bragg diffraction grating (FBG) in a portion positioned inside a cavity part of an optical fiber fixed to the first and second grooves formed continuously in the gage base via the cavity part, and having a welded part along a direction orthogonal to an axial direction of the optical fiber in the first and second grooves. The welded part is used while welded or likely to the measuring object under the condition where the tensile force is applied preliminarily to the FBG using a pretensioner, in order to eliminate the possibility of buckling when compression force is applied to the FBG.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 15.04.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 15.02.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-286563
(P2002-286563A)

(43)公開日 平成14年10月3日(2002.10.3)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード(参考)
G 0 1 L 1/24		C 0 1 L 1/24	A 2 F 0 6 0
G 0 1 B 11/16		C 0 1 B 11/16	C 2 F 1 0 3
G 0 1 D 5/26		C 0 1 D 5/26	D

審査請求 有 請求項の数7 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2001-94059(P2001-94059)
(22)出願日 平成13年3月28日(2001.3.28)

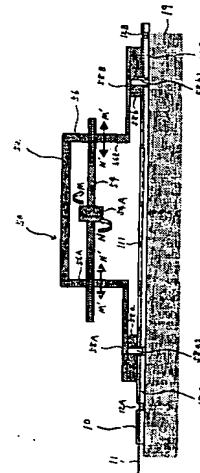
(71)出願人 000142067
株式会社共和電業
東京都調布市調布ケ丘3丁目5番地1
(72)発明者 根本 勇
東京都調布市調布ケ丘3丁目5番地1号
株式会社共和電業内
(72)発明者 上杉 太郎
東京都調布市調布ケ丘3丁目5番地1号
株式会社共和電業内
(74)代理人 100098279
弁理士 栗原 聖
Fターム(参考) 2F065 AA65 BB12 CC00 CC11 CC14
FF48 FF70 LL02 PP01
2F103 BA01 BA02 EA01 EC08

(54)【発明の名称】 光ファイバ式ひずみゲージ

(57)【要約】

【課題】 簡単且つ低コストな構成で温度補償の問題を解決し得る上に、供試体に溶接・接着する等によりその供試体に加わる引張力等を検出し得るコンパクトな構成の光ファイバ式ひずみゲージを提供すること

【解決手段】 ゲージベースに空隙部を介して連続的に形成した第1及び第2の溝に固定される光ファイバの前記空隙部内に位置する部分にブラッグ回折格子(FBG)を形成し、第1及び第2の溝内の光ファイバの軸方向と直交する方向に沿った溶着部を有する光ファイバ式ひずみゲージにおいて、ゲージベースの材料の線膨張係数と測定対象物の線膨張係数との差を利用して温度補償を行う。FBGに圧縮力が付与されると座屈してしまう虞れを解消するため、プリテンション装置を用いて予めFBGに引張力を付与した状態で溶着部を測定対象物に溶接等して用いる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 空隙部が形成されたゲージベースと、前記ゲージベースの一方面において前記空隙部を介して連続的に形成された第1及び第2の溝と、前記第1及び第2の溝に固定されて延びる光ファイバと、該光ファイバの前記空隙部内に位置する部分に形成されたブラッグ回折格子から成るセンシング素子と、前記ゲージベースと測定対象物とを固定する固定手段により前記光ファイバ及び前記センシング素子の軸方向と直交する方向に沿って固着力を加えられる溶着部とを有することを特徴とする光ファイバ式ひずみゲージ。

【請求項2】 請求項1記載の光ファイバ式ひずみゲージにおいて、更に、前記光ファイバ及び前記センシング素子の軸方向と直交する方向に延びて前記空隙部の両側に形成された段差部により前記ゲージベースに区画形成され、前記空隙部の周囲に位置する薄肉部と、該薄肉部より厚さの厚い厚肉部とを有することを特徴とする光ファイバ式ひずみゲージ。

【請求項3】 請求項2記載の光ファイバ式ひずみゲージにおいて、更に、前記ゲージベースの前記薄肉部に形成されたくびれ部を有することを特徴とする光ファイバ式ひずみゲージ。

【請求項4】 請求項1乃至3記載の光ファイバ式ひずみゲージにおいて、前記ゲージベースは、第1の線膨張係数を有する材料から成り、該光ファイバ式ひずみゲージは、第2の線膨張係数を有する材料から成る前記測定対象物に固定され、前記第1の線膨張係数と前記第2の線膨張係数の差を利用して温度補償を行うものであることを特徴とする光ファイバ式ひずみゲージ。

【請求項5】 請求項1乃至4記載の光ファイバ式ひずみゲージは、前記センシング素子に予め引張力を付与した状態で用いられることを特徴とする光ファイバ式ひずみゲージ。

【請求項6】 請求項5記載の前記センシング素子に予め引張力を付与するためのプリテンション装置であって、前記光ファイバ式ひずみゲージに装着するための装着手段と、前記センシング素子に引張力を付与するためのテンション付与手段と、該テンション付与手段により付与される引張力を調整するための調整手段とを有することを特徴とするプリテンション装置。

【請求項7】 請求項6記載のプリテンション装置を用いて前記センシング素子に予め引張力を付与した状態で用いられる光ファイバ式ひずみゲージであって、前記ゲージベースの一方面に前記プリテンション装置を取り付けるための取付部を有していることを特徴とする光ファイバ式ひずみゲージ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、工業プロセス計測、リニアモーターカー・送電線・発電機等におけるひず

み測定等、強電磁界ノイズ環境下の計測、落雷環境下の土木関連計測等に用いられる光ファイバ式ひずみゲージに関し、特に、FBG[Fiber Bragg Grating(光ファイバブラッグ回折格子)]法を用いた光ファイバ式ひずみゲージに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、FBG法を用いた光ファイバ式ひずみゲージ等の光ファイバ式センサが種々提案されている(特許第2983018号公報、特開2000-97786号公報、特開2000-121844号公報等参照)。FBG法は、通信用シングルモード型光ファイバのコア部の屈折率をファイバ軸方向に周期的に変化させた光ファイバブラッグ回折格子を検出素子として用い、該回折格子への入射光のうち屈折率の周期に対応した特定の波長(ブラッグ波長)のみが選択的に反射される現象を利用したものである。即ち、検出素子に歪みが増えられ、回折格子の周期が変化することから、反射光の波長にシフトを生じるので、この波長のシフト量から加えられた歪みを測定できる。

【0003】 しかしながら、このFBG法を用いた光ファイバ式センサでは、上述したブラッグ波長が温度によって変化する性質があるため、FBG法を用いた光ファイバ式センサを歪みの検出に用いる場合には、検出する歪みのレベル(例えば、数百マイクロストレイン)が周辺の温度変化(例えば、 $-20\sim 70^{\circ}\text{C}$)に基づくファイバ自身の歪みのレベルと同程度であり、温度変化の影響を除外する方法(温度補償)が必要である。

【0004】 従来のFBG法を用いた光ファイバ式センサのうち、上記特許第2983018号公報には、FBGを2個用い、一方のFBGを用いて当該FBG型光ファイバと略等しい線膨張係数を有する基板に固着した歪み検出用センサを構成し、他方のFBGを用いて両側で変位が拘束されないように基板に固着した温度補償用センサを構成し、これら2つのセンサを光ファイバで直列或いは並列に接続した例(以下、第1の従来例と称する)が記載されている。

【0005】 また、上記特開2000-97786号公報には、引張力或いは温度変化が加わるとFBGの屈折率及び格子間隔が変化する結果、ブラッグ波長も変化するが、格子の数は変化しないので、反射波の帯域幅は変化しない性質を利用して上述した温度補償の問題を解決する例(以下、第2の従来例と称する)が記載されている。即ち、この第2の従来例は、長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBG部分を有する光ファイバと、引張力が加わると不均一な歪みを生ずる部分を有する引張部材とから成り、光ファイバのFBG部分を引張部材の上記不均一な歪みを生ずる部分に接着固定した構成を備え、引張力が加わるとFBG部分の格子間隔が不均一になり、反射波の帯域幅が広がるので、帯域幅の変化で引張力を測定できる。

【0006】更に、上記特開2000-121844号公報には、変形の枠部材と、この枠部材の一組の対角線上に当該枠部材の内側に突出するように設けられた一対の光ファイバ支持部材と、この一対の光ファイバ支持部材にそれらの間にFBG部分が位置するように支持された光ファイバと、枠部材を弾性変形させて光ファイバに張力を付与するねじ式張力調整部とを備え、上記一対の光ファイバ支持部材を枠部材より熱膨張率の大きい材料で構成したFBGの温度補償装置（以下、第3の従来例と称する）が記載されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記第1の従来例は、それぞれFBGを用いた2つのセンサを光ファイバで直列或いは並列に接続するため、FBGが2個必要になり、コストが高くなる。また、2つのセンサをそれぞれ接着する工程が必要となるため、組立工数が増加し、この点からもコストが高くなる。また、2個のFBGについて予め校正が必要になるので複雑である等の問題がある。

【0008】また、上記第2の従来例は、引張部材に不均一な歪みを生ずる部分を形成することで構成が複雑となり、また、力学的力センサとして引張力等の測定は可能であるが、供試体に貼り付ける等によりその供試体に加わる引張力等を検出し得るひずみゲージ等のようなコンパクトな構成のものではない。

【0009】更に、上記第3の従来例は、変形の枠部材と、一対の光ファイバ支持部材と、ねじ式張力調整部とを備える等、装置の構成も比較的大型となり、上記第2の従来例と同様に、供試体に貼り付ける等によりその供試体に加わる引張力等を検出し得るひずみゲージ等のようなコンパクトな構成のものではない。

【0010】本発明の課題は、簡単且つ低コストな構成で温度補償の問題を解決し得る上に、供試体に溶接・接着する等によりその供試体に加わる引張力等を検出し得るコンパクトな構成の光ファイバ式ひずみゲージを提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明では、空隙部が形成されたゲージベースと、前記ゲージベースの一方面において前記空隙部を介して連続的に形成された第1及び第2の溝と、前記第1及び第2の溝に固定されて延びる光ファイバと、該光ファイバの前記空隙部内に位置する部分に形成されたブラッグ回折格子から成るセンシング素子と、前記ゲージベースと測定対象物とを固定する固定手段により前記光ファイバ及び前記センシング素子の軸方向と直交する方向に沿って固着力を加えられる溶着部とを有する光ファイバ式ひずみゲージを構成し、前記ゲージベースの材料の線膨張係数と測定対象物の線膨張係数との差を利用して温度補償を行うようにした。

【0012】このような発明によれば、FBGを1個のみ用いる場合でも、温度補償が可能であるコンパクトな構成の光ファイバ式ひずみゲージを低コストに得ることができる。

【0013】また、前記センシング素子としてのFBGに圧縮力が付与されると座屈してしまう虞れを解消するため、本発明の光ファイバ式ひずみゲージは、前記センシング素子に予め引張力を付与した状態で用いるようにした。

【0014】これにより、測定レンジは狭まるが、座屈の虞れなく、圧縮ひずみの測定も可能となる。更に、本発明では、前記センシング素子に予め引張力を付与するために、前記光ファイバ式ひずみゲージに装着するための装着手段と、前記センシング素子に引張力を付与するためのテンション付与手段と、該テンション付与手段により付与される引張力を調整するための調整手段とを有するプリテンション装置を用い、光ファイバ式ひずみゲージのゲージベースに前記プリテンション装置を取り付けるための取付部を設けるようにした。

【0015】これにより、測定現場で大変作業性良く、座屈防止のために予め引張力を付与した状態で、光ファイバ式ひずみゲージを測定対象物に取り付けて用いることができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しつつ具体的に説明する。ここで、添付図面において同一の部材には同一の符号を付しており、また、重複した説明は省略されている。なお、発明の実施の形態は、本発明が実施される特に有用な形態としてのものであり、本発明がその実施の形態に限定されるものではない。

【0017】図1は、本発明の一実施の形態である光ファイバ式ひずみゲージを示す平面図である。図1に示すように、本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージは、H型の空隙部13が形成されて全体として矩形を有するゲージベース10と、ゲージベース10の一方面において空隙部13を介して連続的に形成された第1及び第2の溝14、15と、例えば、接着剤によりこれらの溝に固定されて延びる光ファイバ11とを備えている。光ファイバ11は、空隙部13内に浮いた状態でセンシング素子としてのFBG（光ファイバブラッグ回折格子）111を有している。

【0018】また、ゲージベース10には、第1及び第2の溝14、15内における光ファイバ11の軸方向と直交する方向に延びて空隙部13の両側に形成された段差16A、16Bにより、空隙部13の周囲に位置する薄肉部17と、この薄肉部17より厚さの厚い厚肉部18A、18Bとが区画形成されている。更に、ゲージベース10の薄肉部17にはくびれ部20が形成されている。これにより、薄肉部17の剛性が低下され、鋼材な

どの測定対象物（図示せず）のひずみに応じてゲージベース10が変形し易くなっている。

【0019】厚肉部18A側には、ゲージベース10と測定対象物（図示せず）とを、例えば、スポット溶接により固定するための溶着部12A、12Aが、それぞれ第1の溝14の近傍からゲージベース10の短手方向両側まで形成されている。また、厚肉部18B側には、同様に、ゲージベース10と測定対象物（図示せず）とを、例えば、スポット溶接により固定するための溶着部12B、12Bが、それぞれ第2の溝15の近傍からゲージベース10の短手方向両側まで形成されている。

尚、ここで、溶着部12A、12Bは、後述するように、スポット溶接し易いように、薄肉状に形成されている。なお、ゲージベース10と測定対象物とを固定するための溶着には種々の形態を採用することができ、本実施の形態のスポット溶接の他、接着剤による接着、更に、ガス圧接のような圧接のみならず、種々の融接およびろう付け技術等で両者を固定することが可能である。

【0020】厚肉部18Aのそれぞれ溶着部12A、12Aよりも内側（薄肉部17側）には、後述するように、プリテンション治具のピン部を挿入して取り付けるための孔22A、22Aが形成されている。また、厚肉部18Bのそれぞれ溶着部12B、12Bよりも内側（薄肉部17側）には、同様に、プリテンション治具のピン部を挿入して取り付けるための孔22B、22Bが形成されている。

【0021】さて、本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージを使用する場合、測定対象物のひずみを、検出部として設けた光ファイバ11のFBG111に伝えて検出する。即ち、本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージを用いるには、測定対象物（図示せず）にゲージベース10を固定し、光ファイバ11の一端を光源側（図示せず）に接続し、他端を光検出手段（図示せず）に接続して用いる。測定対象物に応力が作用してひずみが生じると、ゲージベース10も同じように引っ張り又は圧縮される。この結果、空隙部13の間隔Gが、引っ張りの場合には増加し、圧縮の場合には減少する。そして、空隙部13の間隔Gが増減することにより空隙部13におけるFBG111に歪みが加えられる。これにより、FBG111における回折格子の周期が変化することから、反射光の波長にシフトを生じる。従って、この波長のシフト量を光検出手段にて検出することにより、ひずみ量を計測することができる。

【0022】このように、本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージによれば、引っ張りひずみだけでなく圧縮ひずみの測定も可能である。また、検出感度の比較的高いFBG（光ファイバブラッグ回折格子）をセンシング素子として用いているので、測定対象物がひずみの大きい鉄の場合は勿論、ひずみの小さいコンクリートの場合でも、高精度な検出が可能である。ここで、本実施の形

態の光ファイバ式ひずみゲージでは、図1に示すように、第1及び第2の溝14、15内における光ファイバ11の軸方向と直交する方向に延びて形成された各溶着部12A、12B内に2列に亘ってスポット溶接を行うことによりゲージベース10と測定対象物とが固定される。このように、光ファイバ11の軸方向と直交する方向に沿って働く固着力によって光ファイバ式ひずみゲージと測定対象物とが固定されると、ゲージ長が光ファイバ11の軸方向における固着部間距離となる。従って、ゲージ長が光ファイバ11の軸方向における固着部間距離となるので、後述する線膨張を用いた温度補償におけるゲージ長の不確かさがなくなる。

【0023】更に、薄肉状に形成された溶着部12A、12Bのそれぞれ厚肉部18A、18Bとの段差12a、12bに、例えば、スポット溶接機を沿わせて動かすだけで第1及び第2の溝14、15内における光ファイバ11の軸方向と直交する方向に沿った溶着部12A、12Bを測定対象物に溶着できるので、光ファイバ式ひずみゲージ取り付け作業の容易化を図ることが可能になる。

【0024】次に、本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージにおける温度変化の影響を除外する方法（温度補償）について説明する。

【0025】再び図1を参照して、本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージについて、温度補償方法を説明する。図1に示す光ファイバ式ひずみゲージにおいては、上述したように、第1及び第2の溝14、15内における光ファイバ11の軸方向と直交する方向に延びて形成された溶着部12A、12B内にスポット溶接等によりゲージベース10と測定対象物とが固定される結果、光ファイバ11の軸方向と直交する方向に沿って働く固着力によって光ファイバ式ひずみゲージと測定対象物とが固定され、ゲージ長が光ファイバ11の軸方向における固着部間距離Lとなっている。

【0026】図示の光ファイバ式ひずみゲージにおいて、例えば、温度の上昇により測定対象物に固定されたゲージベース10全体が伸長した場合には、厚肉部18Aと厚肉部18Bもそれに伴って伸長する分、間隔Gが増加してFBG111における回折格子の周期が長くなることから、反射光の波長にシフトを生じるが、厚肉部18Aと厚肉部18Bそれぞれの自由端側も間隔G内で伸長する結果、その分だけ間隔Gを減少させる方向に作用する。このため間隔Gの増加がその分だけ相殺されるので、温度変化による影響を減少させ得る構造となっている。

【0027】ここで、上記光ファイバ式ひずみゲージにおいて、かかる温度変化による影響を可及的に小さくするための条件等につき、図1を参照しつつ、説明する。ここでは、説明を簡単にするために、測定対象物のひずみが接合部（図示せず）上の図1に示すゲージベース1

0に100%伝達し、ゲージベース10のひずみは光ファイバ11に100%伝達するものとして説明する。

【前提条件】

$\alpha f (= \alpha g)$: ファイバ及びFBGの線膨張係数 $< \alpha a, b$

ここで、 αa : 測定対象物の線膨張係数、 αb : ゲージベース10の線膨張係数とする。即ち、ファイバの線膨張係数 $\alpha f (= FBG$ の線膨張係数 αg) は、測定対象物の線膨張係数 αa やゲージベース10の線膨張係数 αb よりも十分小さいものとする。また、厚肉部18A、18Bに比して薄肉部17及びFBG111の引張り・圧縮剛性が十分低いものとする。

【0028】従って、測定対象物に歪みを付加した場

$$(L-G)/2 \rightarrow (L-G)/2 \cdot (1+\alpha b \cdot \Delta T) \quad (2)$$

(1) 式及び(2) 式より、

【0031】

$$G \rightarrow G' = (1) \text{ 式} - 2 \times (2) \text{ 式} = (1+\epsilon) L (1+\alpha a \Delta T) - (L-G) (1+\alpha b \cdot \Delta T) \quad (3)$$

【0032】

$$(G' - G) / G = \{ L (\alpha a - \alpha b) \Delta T + G \cdot \alpha b \Delta T + L \epsilon \} / G \quad (4)$$

例えば、図1において、 αa : 測定対象物の線膨張係数 (図示の例では、 $11e-6$)、 αb : ゲージベース10の線膨張係数 (図示の例では、 $16e-6$)、間隔 $G=11\text{mm}$ とすると、FBG111においては、 $\lambda B=2n0\Lambda$ が成り立つ。ここで、 λB : ブラッグ波長、 $n0$: FBG111のコアの実効平均屈折率、 Λ : 屈折率の変化を与えた周期である、 $1/\lambda B \cdot \delta \lambda B / \delta \epsilon = 7.80e-7 (\mu\epsilon^{-1})$ $\therefore \delta \lambda B = 1.21e-3 / 1\mu\epsilon$

$1/\lambda B \cdot \delta \lambda B / \delta T = 0.00000667$ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) $\therefore \delta \lambda B = 1.03e-2 / 1^{\circ}\text{C}$ となり、 1°C あたりの相当ひずみは、 $1.03e-2 / 1.21e-3 = 8.55 (\mu\epsilon/^{\circ}\text{C})$ となる。

【0033】従って、温度による影響を消すには、

【0034】

$$L = -(8.55e-6 + \alpha b) G / (\alpha a - \alpha b) \quad (5)$$

$L=54.01\text{mm}$ となる。

【0039】すなわち、上記条件下において、間隔 $G=11\text{mm}$ に対し $L=54.01\text{mm}$ とすれば、温度変化による影響を可及的に小さくし得ることが判明した。 $L/G=54.01/11$ となり、従って、 $G=11\text{mm}$ とすれば、 $L=54.01\text{mm}$ 、一方、 $G=3\text{mm}$ とすれば、 $L=14.73\text{mm}$ 、 $G=5\text{mm}$ とすれば、 $L=24.55\text{mm}$ となる。かかる寸法に形成することにより、温度影響が少ない光ファイバ式ひずみゲージを実現できる。

【0040】実際の設計にあたっては、上記で前提としたひずみの伝達は100%でないため、各部材間での伝達効率を実測またはFEM (有限要素法) 等で求め、そ

合、厚肉部18A、18Bの歪みは略0、また、ゲージベース10のP部 (厚肉部18A、18Bと薄肉部17の境界線付近) は、温度を加えた場合、Q部を始点に自由膨張し、伸びを中央の薄肉部17が吸収するものとする。各部の寸法を図1に示すものとする、

【0029】

【数1】

$$L \rightarrow L' = \alpha a \Delta T (1+\epsilon) L + (1+\epsilon) L = (1+\epsilon) L (1+\alpha a \Delta T) \quad (1)$$

【0030】

【数2】

【数3】

【数4】

$$\{ L (\alpha a - \alpha b) + G \cdot \alpha b \} \Delta T / G + 8.55e-6 \cdot \Delta T = 0 \text{ より、}$$

【0035】

$$\{ L (\alpha a - \alpha b) + G \cdot \alpha b \} = -8.55e-6 G = 0$$

【0036】

$$\{ \text{数7} \} L = -(8.55e-6 + \alpha b) G / (\alpha a - \alpha b) \quad (5) \text{ より、(5) 式が導かれる。}$$

【0037】

$$\{ \text{数8} \} \text{基本式} \{ L \cdot \alpha a \cdot \Delta T - (L-G) \cdot \alpha b \cdot \Delta T \} / G + 8.55e-6 \cdot \Delta T = 0 \text{ が成り立つから、}$$

$$L \cdot \alpha a - L \cdot \alpha b + G \cdot \alpha b = -8.55e-6 \times G$$

【0038】

【数9】

$$L = -(8.55e-6 + \alpha b) G / (\alpha a - \alpha b) \quad (5)$$

これらのひずみ伝達効率を考え合わせるにより最適形状を求めれば良い。

【0041】ところで、約10mmのFBGを用いた光ファイバ式ひずみゲージの場合、圧縮力が加わると、FBG部分が座屈してしまう虞れがある。このようにFBG部分が座屈してしまうと、正確な歪み検出が困難となるばかりか、以後、その光ファイバ式ひずみゲージは使用できなくなる。そこで、かかる座屈を防止する手段として、本発明者は、以下のような実施例につき検討した。

【実施例】本実施例では、プリテンション治具を用いて所定のプリテンションを与えることにより圧縮 (実際は引張り状態) 及び引張り状態で、座屈を有効に防止しつ

つ温度補償が可能となる。尚、この場合、FBGの力計測に使用し得る範囲は狭まるが、温度補償は可能となる。

【0042】尚、ここでの温度補償は、本実施形態の光ファイバ式ひずみゲージをスポット溶接等により歪み測定対象物に取り付けた場合、例えば、ゲージを取り付けるセンサ(変位計等)の起歪部鋼材又は歪み計測を行う橋梁等構造物の鋼材に取り付けた場合に、鋼材の外気温等による温度変化に伴う見かけ歪みを無くするための補償法であり、ゲージを取り付ける前のゲージ単体での温度補償ではない。

【0043】温度補償のための所定のプリテンションを与えるプリテンション治具の使い方を含め、本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージの使用法について、図2および図3を用いて説明する。

【0044】まず、本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージと共に使用するプリテンション治具の構成について説明する。

【0045】このプリテンション治具50は、図2および図3に示すように、治具本体52と、テンション調整棒54とを有している。治具本体52は、弾性材から成り、長手方向断面がコ字状の押圧力調整部56と、長手方向両端側に形成された押圧部58A、58Bとを含んでいる。押圧力調整部56は、図3に示すように、くびれ部20、20のくびれ部分に達する程度の幅に形成され、押圧部58A、58Bは、ゲージベース10の幅と略等しい幅に形成されている。押圧部58A、58Bの長手方向両端側下面には、それぞれ仮固定部58a、58bが設けられており、これら仮固定部58a、58bには、それぞれ仮固定用ピン58a1及び58a2、58b1及び58b2が圧入されている。テンション調整棒54は、中央につまみ部54Aが圧入され、両端側はボールねじ状に切られている。治具本体52の押圧力調整部56におけるテンション調整棒54が挿通する対応位置はボールナット状に形成されている。これにより、このプリテンション治具50は、テンション調整棒54のつまみ部54Aを、例えば、図示矢印M方向に回せば、押圧力調整部56の面56Aと56Bが相互に離反する方向(図示矢印M'方向)に移動し、反対に、図示矢印N方向に回せば、押圧力調整部56の面56Aと56Bが相互に接近する方向(図示矢印N'方向)に移動するようになっている。従って、仮固定部58a、58bの仮固定用ピン58a1及び58a2、58b1及び58b2を前述したゲージベース10の孔22A、22Aと22B、22Bにそれぞれ挿入した状態で、テンション調整棒54のつまみ部54Aを図示矢印M方向に回せば、押圧部58A、58Bそれぞれの仮固定部58a、58b及び仮固定用のピン58a1及び58a2、58b1及び58b2を介してゲージベース10(光ファイバ11)に長手方向の引張力を与えることができ

る。反対に、同様の状態で、テンション調整棒54のつまみ部54Aを図示矢印N方向に回せば、ゲージベース10(光ファイバ11)に長手方向の圧縮力を与えることが可能である。

【0046】本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージの温度補償を可能とする使用方法について詳説する。まず、本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージを測定対象物19(図2参照)に取り付け、溶着部12A、12Aのそれぞれ厚肉部18Aとの段差に、例えば、スポット溶接機を沿わせて動かすことにより、溶着部12A、12Aを測定対象物19に溶着する(ステップ1)。次に、仮固定部58a、58bの仮固定用ピン58a1及び58a2、58b1及び58b2をゲージベース10の孔22A、22Aと22B、22Bにそれぞれ挿入することにより、プリテンション治具50を光ファイバ式ひずみゲージに装着する(ステップ2)。この状態で、所定のプリテンション(引張力)になるように、テンション調整棒54のつまみ部54Aを図示矢印M方向に回して調整する。この場合、つまみ部54Aを図示矢印N方向に戻す等して調整することが可能である(ステップ3)。所定のプリテンション(引張力)への調整が完了したら、今度は、溶着部12B、12Bのそれぞれ厚肉部18Bとの段差に、例えば、スポット溶接機を沿わせて動かすことにより、溶着部12B、12Bを測定対象物19に溶着する(ステップ4)。これにより、ゲージベース10(光ファイバ11)に長手方向の引張力を印加した状態で、光ファイバ式ひずみゲージを測定対象物19に取り付けることができる。尚、光ファイバ式ひずみゲージを測定対象物19に取り付けた後は、テンション調整棒54のつまみ部54Aを図示矢印N方向に回して、押圧部58A、58Bの押圧力を緩めた上で、プリテンション治具50を光ファイバ式ひずみゲージから取り外す(ステップ5)のは勿論である。このように、本実施の形態の光ファイバ式ひずみゲージを測定対象物19に固定したら、光ファイバ11の一端を光源側(図示せず)に接続し、他端を光検出手段(図示せず)に接続して計測する。測定対象物19に応力が作用してひずみが生じると、ゲージベース10も同じように引っ張り又は圧縮される。この結果、空隙部13の間隔Gが、引っ張り場合には増加し、圧縮場合には減少する。そして、空隙部13の間隔Gが増減することにより空隙部13におけるFBG111に歪みが増えらる。これにより、FBG111における回折格子の周期が変化することから、反射光の波長にシフトを生じる。従って、この波長のシフト量を光検出手段にて検出することにより、ひずみ量を計測し得る(ステップ6)。

【0047】本実施の形態では、ゲージベース10における薄肉部17とくびれ部20とによって厚肉部18A、18Bに比べてよりフレキシブルな部分が形成されている。このため、第1に、引っ張り剛性が低下して内

力が小さくなるので、測定対象物に取り付けられた場合に、測定対象物との固着部におけるせん断応力が抑制される結果、ゲージ特性のばらつきが低減されるので、信頼性の高いひずみ量の計測が可能になる。第2に、測定対象物に取り付ける場合に、プリテンション治具50の押圧部58A、58Bによる引張又は圧縮力が作用しても、この引張又は圧縮力は、このフレキシブルな部分に吸収されるので、取り付けの際に溶着部12A、12Bに作用する剪断応力を低下させることが可能となる。

【0048】一方、上述した如き構成のプリテンション治具50によれば、微小ではない、略1kgf前後のプリテンション力を付加できるので、テンション調整棒54等によりプリテンション力を手動で調整することができる。尚、ゲージベース10の薄肉部17にはくびれ部20を予め設けず、ゲージベース10の長手方向両側の溶着部12A、12Bを両方とも測定対象物19に溶接等した後に、当該薄肉部を一部切断分離することにより、くびれ部を形成してもよい。或いは、ゲージベース10の長手方向両側の溶着部12A、12Bを両方とも測定対象物19に溶接等した後に、図1及び図3に示すようなくびれ部20を予め有する薄肉部17を、更に、一部切断分離するようにしてもよい。これにより、溶着部12A、12Bに対する剪断応力を更に低下させ、薄肉部17やくびれ部20等によるフレキシビリティをより完全にすることも可能である。

【0049】本発明者等は、座屈防止手段としての他の様々な可能性につき検討してみた。例えば、図4(a)に示すように、FBG111部分を管状の座屈防止スリーブ70で覆うことも考えてみた。そして、ある程度の座屈防止効果は得られたが、上記実施例のように、機械的にプリテンションを与える方がより有効に座屈を防止することができると認められた。また、機械的にプリテンションを与える手段として、例えば、図4(b)に示すように、光ファイバ式ひずみゲージを作製後、ゲージベース10を測定対象物19に接着・固定した上で、光ファイバ11の一端をプーリ42を介して台44に固定し、一方、光ファイバ11の他端をプーリ46を介しておもり48に固定し、おもり48に作用する重力を利用して、光ファイバ11(FBG111)にプリテンションを与えることも考えてみた。プリテンションを与えるという目的では、上記実施例と同様の効果は得られたが、実験室等では別論、現場での作業性という点では、上記実施例の方がはるかに優れていることが容易に判明した。

【0050】以上、本発明について実施の形態をもとに説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更することができる。例えば、上記実施形態では、プリテンション治具の取付部を(貫通)孔22A、22Bとして形成したが、プリテンション治具のピン部を挿入して取り付

けられるものであれば非貫通孔でも良く、更に、プリテンション治具側に貫通又は非貫通孔を設け、ゲージベース10には、プリテンション治具の取付部をピン或いは突起として形成しても良い。

【0051】また、例えば、くびれ部20や段差部16A、16Bに区画された薄肉部17及び厚肉部18A、18Bは形成されていなくてもよい。但し、これらが形成されていれば、測定対象物19のひずみに伴ってゲージベース10が変形しやすくなるので、より精度の高いひずみ量の計測を行うことができる。

【0052】また、本明細書において光ファイバ11の軸方向と直交する方向とは、光ファイバ11の軸方向と厳密な意味で直角に交わる方向のみを指すのではない。すなわち、測定対象物19で発生したひずみに伴う内力がゲージベース10に発生しない角度内であれば、光ファイバ11の軸方向と直角に近い角度で交わる方向も含まれる。

【0053】更に、本実施の形態においては、ゲージベース10には連続的な第1及び第2の溝14、15を形成しているが、本発明において溝数は本実施の形態に限定されるものではない。すなわち、空隙部13を介して他の連続的に形成された溝を更に設け、光ファイバ11を複数本配置するようにしてもよい。

【0054】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば以下の効果を奏することができる。すなわち、本発明によれば、FBGを用いた光ファイバ式ひずみゲージでありながら、温度補償用のFBGを設けることなく、1つのFBGで温度補償をした歪み計測が可能である。

【0055】また、歪み拡大機能により、微小歪みを検出可能である(換言すれば、見かけ上のゲージ率を増加し得る)。更に、起歪部の応力を低く押さえられ、剛性の高いセンサを実現できるだけでなく、起歪部構造の単純化を図れるので、コスト低減にも結び付く。

【0056】一方また、本発明によれば、温度補償用のFBGが不要となるので、温度補償用のFBGを別個に製作する必要がなくなり、高価であるFBG費用を削減できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態である光ファイバ式ひずみゲージを示す平面図である。

【図2】図1の光ファイバ式ひずみゲージをプリテンション治具とともに示す断面図である。

【図3】図1の光ファイバ式ひずみゲージをプリテンション治具とともに示す平面図である。

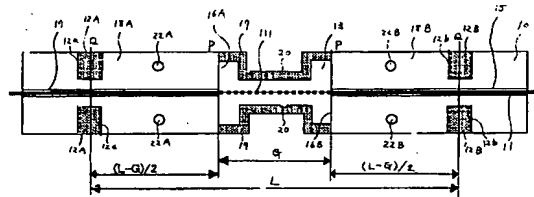
【図4】座屈防止手段の他の例を示す図であり、(a)は、座屈防止スリーブを用いる例、(b)は、おもりを利用してプリテンションを与える例をそれぞれ示す。

!(8) 002-286563 (P2002-286563A)

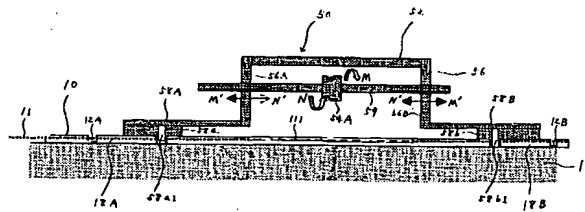
【符号の説明】

10	ゲージベース	L	固着部間距離
11	光ファイバ	111	FBG
12A, 12B	落着部	22A, 22B	孔
13	空隙部	50	プリテンション治具
14	第1の溝	52	治具本体
15	第2の溝	54	テンション調整棒
16A, 16B	段差部	54A	つまみ部
17	薄肉部	56	押圧力調整部
18A, 18B	厚肉部	58A, 58B	押圧部
19	測定対象物	58a, 58b	仮固定部
20	くびれ部	58a1, 58a2	仮固定用ピン
G	間隔	58b1, 58b2	仮固定用ピン

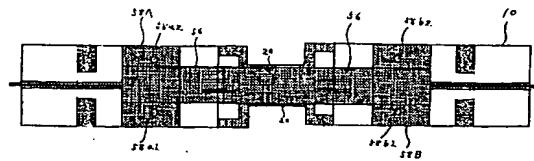
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

